Lane Medical Library

Die wirkliche Dauer der einfachen Muskelzusammenziehung.

INAUGURAL-DISSERTATION,

WELCHE

ZUR ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

IN DER

MEDICIN UND CHIRURGIE

MIT ZUSTIMMUNG

DER MEDICINISCHEN FACULTÄT

DER

FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT ZU BERLIN

am 15. August 1878

NEBST DEN ANGEFÜGTEN THESEN

ÖFFENTLICH VERTHEIDIGEN WIRD

DER VERFASSER

Johannes v. Raum

aus Russland.

OPPONENTEN:

Herr O. Gordon, Dr. med.
- B. Stort, Dr. med.
- H. Kurella, Cand. med.

BERLIN.

Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke).

Linienstr. 158.

Seinen theuren Eltern

in Liebe und Dankbarkeit

gewidmet

vom

Verfasser.

Während die Lehre vom Blutkreislaufe, von der Athmung und der Verdauung trotz der grossen Erfolge, welche geniale Physiologen auf diesen Gebieten erreicht haben, doch noch einen gewissen Anschluss findet an die Untersuchungen Galens, sind Nerven und Muskelphysiologie (ebenso wie die physiol. Optik und Akustik) gänzlich abgelöst von den alten vitalistischen Anschauungen. Und wesentlich den „Untersuchungen über thierische Elektricität“ haben wir zu verdanken, dass deren Verfasser die Hoffnung aussprechen durfte: Es wird die Physiologie aufgelöst werden in organische Physik und Chemie[1]).

Die Muskelphysiologie verdankt ihre Entwickelung vornehmlich den Reizversuchen, da, abgesehen von der elektrischen Lebensäusserung des ruhenden Muskels, die Leistungen des bewegten das Interesse in Anspruch nahmen. Es ist daher begreiflich, dass die Frage der Muskelirritabilität schon relativ früh lebhaft discutirt worden ist.

---

[1]) E. du Bois-Reymond, Untersuchungen über thier. Elektr. Band I. pag. L.

Die zahlreichen Mittel, die den Muskel zur Thätigkeit veranlassen können, sind nach und nach bekannt und methodisch vervollkommnet worden.

Haller, der bedeutendste Verfechter der Muskelirritabilitätslehre, führt in folgendem Passus seiner Elementa physiologiae corporis humani schon eine grosse Zahl von Mitteln an, geeignet die Muskeln zur Thätigkeit anzuregen. Er sagt[1]): Verum etsi non sponte semper vis musculo insita adparet, certe tamen suscitari potest, si stimulus accesserit. Plurima vero sunt, quae pro stimulo possint esse, ipsum, quod modo citavimus, chemicum venenum, etsi id quidem, motus producit instabiles. Porro efficaciter irritatur caro musculosa adspersa sale, alcohole, frigida calore vehementi, sed imprimis lancinatione, quae sit a radente metallo, et demum *potentior omnibus stimulis est electrica scintilla*, quae de musculo educitur, motumque saepe suscitat, quando omnis alius stimulus efficacia caret.

Die Elektricität dient heutzutage als das bei weitem wichtigste Reizmittel, nicht darum, weil es „das mächtigste von allen ist," sondern weil man dasselbe nach Intensität und zeitlicher Wirkung mit mathematischer Genauigkeit abstufen kann.

Natürlich ist diese Kenntniss nicht älter als die Entwickelung des Galvanismus.

---

[1]) Lib. XI. Sect. II. § V. pag. 448. IV. Band der Lausanner Ausgabe.

Dass die Reibungselektricität nicht bloss Empfindung anrege, sondern auch Bewegung auslöse, war unzweifelhaft von der Zeit ab bekannt, wo man die Mittel hatte, starke elektrische Schläge zu erzeugen. Ob vor der Construction der Kleist'schen resp. Leydener Flasche (1745) ein Versuch einer Muskelreizung auf elektrischem Wege gemacht worden ist, darüber hat Herr du Bois-Reymond in seinen „Untersuchungen" keine Auskunft zu geben vermocht.

Die ersten Nachrichten über die Einwirkung elektrischer Reizung von Froschmuskeln finden wir in einem Briefe Caldani's[1]), welchen ich bei dem Interesse des Gegenstandes und der Seltenheit dieses Buches, welches ich der Güte des Herrn du Bois-Reymond verdanke, wiederzugeben mir erlaube, trotz einiger seltsamer darin enthaltener Irrthümer:

Nous préparâmes une autre grenouille, et nous la mîmes sur un corps originairement électrique. Le fil de laiton attaché au nerf crural étoit d'environ trois pieds, et on le fit toucher à la chaine de la machine électrique. Lorsque l'on commença à faire jouer la machine, et que la matière électrique se mit en mouvement, les extrémités inférieures se contractèrent avec

---

[1]) Lettre de Marc Antoine Caldani philosophe et médecin de Boulogne à Mr. Albert de Haller. Sur l'insensibilité et l'irritabilité de quelques parties des animaux. A Lausanne 1760. T. III. pag. 146. Exp. 72. § 96.

force, et elles restèrent étendues pendant quelque temps. Quand on tiroit une étincelle du fil de laiton, les muscles se relachoient, mais ils se remettoient bientôt. De quelque autre manière qu'on irritat les nerfs, ils ne produisoient point de contraction dans les muscles. Nous ouvrîmes la poitrine à une autre grenouille, et nous la fîmes toucher à celle-ci; et nous observâmes avec plaisir, que les ritmes du coeur devenoient plus frequens et plus forts. On répéta tout cela plusieurs fois; mais nous ne vîmes jamais, que le nerf se remuat, ou qu'il s'accourcit.

L'on croit pouvoir conclure de tout cela, qu'il n'y a rien qui irrite plus fortement que la matière électrique. Il semble qu'elle a la force d'augmenter les mouvemens du coeur, et cela confirme le sentiment des philosophes, qui attribuent un pouls plus fréquent aux personnes électrisées.

Lange Zeit bediente man sich dann zu physiologischen Untersuchungen nur der momentanen Reize, wie sie Oeffnung und Schliessung von galvanischen Strömen lieferten und Alexander von Humboldt[1]) hat seine vielen berühmten Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser mit Hülfe einzelner electrischer Reize ausgeführt.

Da aber die Wirkung derselben viel zu schnell vor-

---

[1]) Versuche über die gereizte Muskel und Nervenfaser. Band I. 1797.

übergehend war, um von dem Beobachter unmittelbar nach Grösse und Dauer bestimmt zu werden, so suchte man Mittel, um Muskelzusammenziehung dauernd zu erhalten.

Diese wurden durch die Entdeckung des electrischen Tetanus geboten. Zuerst hat wohl Volta[1]) Tetanus erzeugt.

Unabhängig von ihm hat electrischen Tetanus Nobili und nach ihm Sterneberg 1834 hervorgerufen[2]).

Nachdem das Blitzrad zur schnellen Folge von Stromunterbrechung construirt worden war und der Wagner'sche Hammer, um diese Unterbrechungen automatisch durch den galvanischen Strom selbst bewirken zu lassen, hat Herr du Bois-Reymond diese Unterbrechungsvorrichtung mit dem von ihm vervollkommneten Inductionsapparate derart verbunden, dass daraus das jetzt allgemein gebräuchliche Schlitten-Inductorium entstanden ist. Dieses diente seinem Erfinder, um die negative Schwankung des Muskel- und Nervenstromes mit den damaligen Hülfsmitteln beobachten zu können.

---

[1]) Vergleiche seinen Brief an Aldini vom 24. November 1792: „giungono al sommo le convulsioni spasmodiche e presentano uno de più forti *tetani*, se rimanendo un solo metallo cosstantemente applicato al nervo, l'altro si stacca a brevi istanti, e ritorna a toccare, e ciò più volte de seguito con qualche celerità."

[2]) Cf. du Bois-Reymond, Untersuchungen über thier. Elektr. Band II. pag. 38.

Es diente auch Helmholtz bei seinen Untersuchungen über die Wärmeentwickelung bei der Muskelaction.

Ed. Weber[1]) wandte die magnetogalvanische Rotationsmaschine an, um mittels Fernglas und Scala die Verkürzung des gereizten Muskels mit Musse ablesen zu können.

Auf diesem Wege stellte er unter Anderen seine bekannten Gesetze über die Abhängigkeit der Muskelverkürzung von der Belastung fest.

Helmholtz[2]) wies zuerst darauf hin, dass die Beobachtungen am tetanisirten Muskel keinen Aufschluss geben könnten über die Grösse der damit geleisteten mechanischen Arbeit, also auch keine Schlüsse gestattete auf das Verhältniss der vom Muskel in lebendige Kraft umgesetzten Spannkräfte. Helmholtz sagt hierüber: „Der andauernd gleichmässig erregte Muskel bringt durch die erschöpfendste Anstrengung keine Arbeit im Sinn der Mechanik hervor, er bewirkt nur, dass die Körpertheile in einer neuen Gleichgewichtslage ruhend verweilen. Um eine Arbeit zu leisten, Bewegungen des eigenen Körpers, oder Veränderungen in der Aussenwelt hervorzubringen, muss der Muskel zwischen Ruhe und Erregung wechseln, und die Grösse seiner Arbeit wird wesentlich von der Geschwindigkeit des Wechsels abhängen."

---

[1]) Wagner's Wörterbuch Band III Abth. II pag. 11.

[2]) Müller's Archiv 1850. pag. 276.

Um Grösse und Verlauf der Muskelzusammenziehung, wie sie in Folge instantanen Reizes durch einfachen Inductionsschlag erfolgt, zu messen, construirte Helmholtz das Myographion und richtete für physiologische Zwecke die Pouillet'sche Zeitmessungsmethode her.

Auf Grund so gewonnener Muskelzuckungscurven unterschied er in dem Zuckungsvorgange ein Stadium latenter Reizung, ein Stadium der steigenden und ein solches der sinkenden Energie.

„Die Curve giebt die Höhen an, bis zu welchen das Gewicht in den durch die Abscisse gemessenen Zeiträumen erhoben war. Diese Höhen sind nicht identisch mit denen, in welchen das Gleichgewicht zwischen der Schwere des Gewichts und der augenblicklichen Muskelspannung stattfindet. Wir wollen diese letzteren „Höhen des Gleichgewichts" nennen. Die Trägheit des Gewichts verhindert, dass dasselbe unter dem Einfluss der darauf wirkenden Kräfte sogleich seine Gleichgewichtslage einnehme; desshalb muss sich nothwendig die Curve der Erhebungshöhen von der der Höhen des Gleichgewichts mehr oder weniger unterscheiden. Gleich der erste Blick lehrt, dass das Endstück der gezeichneten Curve aus Schwankungen um eine veränderliche Gleichgewichtslage besteht. Ein Gewicht, welches, an einem elastischen Faden von starker elastischer Nachwirkung schwebend, in vertikale Schwankungen gesetzt wäre, würde ganz ähnliche Wellenlinien zeichnen. Aber auch das Anfangsstück der Curve besteht aus ab-

wechselnd concaven und convexen Stellen, die sich allerdings nicht als so regelmässige Wellen zeichnen wie jene. Eine jede nach oben concave Stelle der Curve bezeichnet aber im ansteigenden Theile derselben eine Ansteigung mit beschleunigter, im absteigenden eine Absteigung mit abnehmender Geschwindigkeit. Beide Arten der Bewegung können nur dadurch entstanden sein, dass während derselben die Resultante der wirkenden Kräfte nach oben gerichtet war. Eine jede nach oben convexe Stelle bezeichnet dagegen im ansteigenden Theile eine Ansteigung mit abnehmender, im absteigenden eine Absteigung mit zunehmender Geschwindigkeit, und lässt auf eine nach unten gerichtete Kraft schliessen. In den concaven Stellen war also die Spannung des Muskels grösser, in den convexen kleiner als die Schwere des Gewichts; in jenen muss also die Curve der Gleichgewichtshöhen höher liegen als die gezeichnete Curve, in letzteren tiefer. An denjenigen Punkten aber, wo concave in convexe Stellen übergehen, müssen sich beide Curven schneiden, und die Erhebungshöhen den Höhen des Gleichgewichts gleich sein.“

Es ist hiernach klar, dass die Muskelzuckungscurve, wie sie in der Regel geschrieben wird, kein treues Bild giebt von den Veränderungen im Muskel selbst, sondern nur von denjenigen, welche der Muskel auf den mit ihm locker verbundenen belasteten Schreibhebel ausübt, mithin ist aus der Curve nicht zu ersehen,

wie lange der Muskel Energie entwickelt. Wir können nur sagen, dass unter den gegebenen Widerständen das gezeichnete Maximum vom Muskel sicherlich nicht überschritten worden ist.

Hingegen kann Gewicht nebst Hebel vermöge der erhaltenen Anfangsbeschleunigung über das wahre Contractionsmaximum des Muskels hinausgeworfen worden sein.

Es erschien nun wünschenswerth, unsere Kenntniss von dem Zuckungsvorgange dahin zu vervollkommnen, dass wir die wahren Curven der einfachen Muskelzuckung aufzeichnen.

Man konnte daran denken, das Ende eines unbelasteten Muskels mit einer starr befestigten Feder direkt seine Bewegung auf ein Myographion aufzeichnen zu lassen. Man bemerkt aber unter diesen Umständen, wie mir Herr Prof. Kronecker mitgetheilt, dass, wenn man auch die Reibung der Feder an dem bewegten Cylindermantel möglichst gering macht, der Muskel (ein Gastrocnemius) nur wenig vom Maximum seiner Zuckung absinkt, also scheinbar beständig contrahirt bleibt. Diese Beobachtung ist analog der von Kühne[1]) gemachten, dass ein auf Quecksilber gelegter, gereizter Sartorius sich nach Aufhören der Reizung zwar um ein Geringes ausdehnt, aber ohne weitere künstliche Dehnung fortwährend den Anschein eines schwach tetanisirten

[1]) Myologische Untersuchungen.

Muskels behält; dass er jedoch durch eigene Schwere aus dem contrahirten Zustand in den erschlafften zurücksinkt, wenn man ihn senkrecht herabhängen lässt. Einen anderen Weg, um zu ermitteln, bis zu welcher Höhe ein zuckender Muskel noch Energie zu entwickeln vermag, hat Volkmann[1]) eingeschlagen, indem er analog den berühmten Versuchen von Schwann[2]) „die Länge eines Muskels gemessen hat, dessen Verkürzung durch eine seiner Contractilität gleiche Expansionskraft plötzlich unterbrochen wird."

Die Eigenthümlichkeit dieser Methode, welche Volkmann[3]) die d-Methode nennt, „besteht darin, dass das Gewicht dem Muskel in dem Momente angehangen wird, wo seine Kraft der des Gewichtes gleich ist. Um dies auszuführen, verfuhr er in folgender Weise: Der lothrecht aufgehangene Muskel ist an seinem unteren Ende mit einem ziemlich langen Haken verbunden, an welchen das Gewicht angehangen werden kann. Das Gewicht aber ist mit einem langen haarnadelförmigen Henkel versehen und kann mit Hilfe einer Stütze eine derartige Stellung bekommen, dass der am untern Muskelende befindliche Haken den Henkel erst fasst, wenn der Muskel sich bereits mehr oder weniger contrahirt hat. Gesetzt der Muskel hebt in dem ersten

---

[1]) Müller's Archiv für A., Ph. und w. M. Seite 41. 1857.

[2]) Joh. Müller's Handbuch der Physiol. d. M. Band II. S. 59.

[3]) Müller's Archiv für A., Ph. und w. M. Seite 35. 1857.

Versuche das Gewicht noch beträchtlich, so schraubt man die Stütze und mit ihr das Gewicht etwas höher, und sieht zu, ob auch dann noch das Gewicht gehoben werde. Auf diese Weise lässt sich durch tatonnement die Länge des Muskels finden, bei welcher der Muskel das Gewicht eben nur trägt, also nach Weber's Auffassung: die natürliche Länge des thätigen Muskels, vermehrt um die Dehnungsgrösse."

Diese Methode besitzt die Unzuträglichkeit, dass 1. durch vieles Probiren der Muskel erheblich ermüdet werden muss und 2. ein Theil seiner lebendigen Kraft durch den Ruck, welchen ihm die dem Vollbringen seiner Zusammenziehung widerstehende Last giebt, für die Arbeitsleistung vernichtet wird.

Ich schlug daher einen anderen Weg ein, um die wahre Dauer der Muskelzusammenziehung zu suchen.

Es findet sich folgender Satz in der Arbeit der Herren Kronecker und Stirling[1]): „Ein Reiz, welcher den Muskel im vorgerückten Stadium der Erschlaffung trifft, addirt sich nicht der Helmholtz'schen Regel gemäss zum Reste der Zuckung, sondern erzeugt ein nächstes Maximum, welches gleich oder kleiner als das vorhergegangene bleibt."

Wenn man die Bedeutung dieser Eigenheit überlegt, so kommt man zu der Anschauung, dass zwei Reize nur in dem Falle ihre Effecte verstärken können, wenn

---

[1]) Die Genesis des Tetanus. pag. 13.

die Wirkung des ersten beim Eintritt des zweiten noch nicht beendigt ist. Man würde hiernach die Dauer der activen Contraction dadurch finden können, dass man untersucht, von welchem Punkte der ersten Zuckung ab die zweite (gleich starke) das Gewicht nicht mehr über die Höhe des ersten Wurfes bringt.

Helmholtz[1]) hat in seiner Notiz über die Geschwindigkeit einiger Vorgänge im Muskel und Nerven den Effect der superponirten Zuckung dargethan.

In folgenden Worten präcisirt er die Resultate seiner hierauf bezüglichen Untersuchungen: „Ich liess den Muskel in der Regel drei Curven auf gleicher Abscissenlinie zeichnen, eine, wo nur die erste inducirende Spirale von einem Strome durchflossen war, Curve der ersten Reizung, eine, wo dies nur mit der zweiten der Fall war, Curve der zweiten Reizung, und eine, wo beide wirkten, Curve der doppelten Reizung.

Wenn beide elektrische Schläge stark genug sind, um jeder allein das Maximum momentaner Reizung im Muskel hervorzubringen, so sind die Curven der ersten und zweiten Reizung von congruenter Form und liegen nur über verschiedenen Theilen der Abscissenlinie. Die senkrechten Ordinaten der Curve der doppelten Reizung sind keineswegs, wie man vielleicht erwarten möchte, nahe gleich der Summe der betreffenden Ordinaten der

---

[1]) Bericht der Berliner Akademie der Wissenschaften. 1854. pag. 328.

Curven der einfachen Reizungen. Im Anfange fällt natürlich die Curve der doppelten Reizung mit der der ersten Reizung zusammen, bis die Periode der Latenz auch für die zweite Reizung vorübergegangen ist; dann erhebt sich die Curve der doppelten Reizung über die der ersten Reizung und verläuft von nun ab ziemlich parallel mit der sich unter ihr von der Abscissenlinie erhebenden Curve der zweiten Reizung bis zum Maximum und kehrt dann erst im Stadium der sinkenden Energie zur Curve der zweiten Reizung und zur Abscissenlinie zurück.

So lange also die zweite Reizung latent ist, stören sich die beiden Vorgänge im Muskel nicht. Von da an aber, wo die zweite Reizung wirksam wird, verläuft die Zuckung nahehin so, als wäre der in diesem Augenblicke stattfindende Contractionszustand des Muskels sein natürlicher Zustand und die zweite Zuckung allein eingeleitet worden, bis im Stadium der sinkenden Energie der Muskel zu seinem früheren Ruhestande zurückkehrt. Aus dieser Regel ergiebt sich in Uebereinstimmung mit den Versuchen, dass zwei momentane Reizungen die stärkste Zusammenziehung eines Muskels dann hervorbringen, wenn ihre Zwischenzeit gleich ist der Länge des Zeitraums der steigenden Energie. Dann geht natürlich die zweite Zusammenziehung vom Maximum der ersten aus, und die stärkste Verkürzung des Muskels wird fast doppelt so gross, als die Verkürzung nach einer einfachen Reizung. Auffallend ist dabei,

was übrigens auch aus der aufgestellten Regel hervorgeht, dass diese stärkste Verkürzung zu einer Zeit eintritt, wo die Wirkungen der ersten Reizung, wenn ihr keine zweite gefolgt wäre, fast ganz wieder verschwunden gewesen wären.

Dagegen wirken zwei Reizungen nicht stärker als eine einzige Reizung, wenn ihre Zwischenzeit so klein ist, dass beim Anfange der zweiten Zuckung die erste noch keine merkliche Höhe erreicht hat. Dies findet statt, wenn die Zwischenzeit beider Schläge kleiner ist als ungefähr $^1/_{600}$ Secunde.

Sind die Schläge aber so schwach, dass jeder einzelne nicht das Maximum der Reizung hervorzubringen vermag, so verstärken sie sich auch bei der kleinsten Zwischenzeit“ [1]).

Daraus geht hervor, dass Helmholtz nur den aufsteigenden Theil der Zuckungscurve in Betracht gezogen hat.

Für uns aber war es grade wichtig, die Effecte der Summation im absteigenden Theile der Curve zu studiren.

Wenn man annimmt, dass von dem gezeichneten Maximum der Zuckung der Muskel sammt seiner Belastung ohne weitere Kräfte zu entwickeln herabsinkt, so wäre vorauszusetzen, dass jetzt, wenn ein neuer Impuls den erschlaffenden Muskel wiederum zur Con-

[1]) Bericht der Akad. d. W. z. B. 1854. pag. 330.

traction veranlasst, diese zweite Zuckung von der ersten eine Unterstützung erführe.

Man müsste dann annehmen, dass intermittirend gereizte Gliedermuskeln sich ganz ähnlich verhalten wie Froschherzen, von denen Herr Kronecker mit Stirling nachgewiesen hat, dass sie in wirklichen Tetanus nicht versetzt werden können[1]).

Wenn hingegen der contrahirte Muskel einen Spannkraftrest bewahrt, über die Zeit hinaus, welche dem vom belasteten Hebel gezeichneten Maximum entspricht, so muss auch eine nach dem Zuckungsmaximum sich im Muskel neu entwickelnde Hubkraft durch den noch vorhandenen Spannkraftrest vermehrt werden.

Wenn man ferner mit Luciani, Volkmann und Anderen sich vorstellen will, dass der Muskel sich activ ausdehnt, also seiner Ausdehnung widerstehende Kräfte zu überwinden vermag (was bei seiner Biegsamkeit mechanisch freilich schwer verständlich ist), so müsste eine im Stadium der Ausdehnung sich entwickelnde Zusammenziehung in ihrem Werthe um den Rest der Dehnungskraft gemindert werden.

So würde also die (algebraisch) summirte Zuckung ceteris paribus niedriger sein als die einfache.

Endlich hat Valentin[2]), indem er den Inhalt der

---

[1]) Das charakteristische Merkmal der Herzmuskelbewegung. Beitr. zu An. u. Physiol. 1874. Carl Ludwig zum 25jähr. Prof.-Jubiläum S. CLXXXIV.

[2]) Pathologische Physiologie d. N.

Muskelcurve als Maass für die Grösse der geleisteten Arbeit auffasst, dem Muskel während des ganzen Verlaufs seiner „fallenden Zusammenziehung“ Arbeitsleistung zugeschrieben.

In Wirklichkeit ist vom absteigenden Curventheile durch viele Untersuchungen wahrscheinlich gemacht worden, dass seine Form wesentlich von dem Cohäsionszustande (Elasticität) abhängt.

„Die Elasticität des Muskels wird mit der Ermüdung sehr unvollkommen, der Muskel bewahrt dann mit teigiger Zähigkeit die einmal angenommene Form. Man kann dennoch wirklich die Energie des Muskels für sich ermüden und ebenso gesondert die Elasticität abstumpfen. Dies letztere ist schon von vielen Beobachtern erwähnt worden“ [1]).

Auch Funke sagt, dass die Veränderung des absteigenden Theiles der Zuckungscurve durch die Ermüdung sich dahin definiren lässt, „dass diese Abtheilung der Zuckungscurve immer mehr den Charakter einer freien Fallcurve einbüsst, indem durch die Ermüdung erzeugte und mit ihr sich anhäufende Widerstände die Verlängerung des Muskels durch das gehobene Gewicht oder seine eigene Schwere mehr und mehr und in immer früheren Stadien verzögern. Der Muskel gleicht zuletzt einer zähen teigartigen Masse,

[1]) H. Kronecker, Ueber die Ermüdung und Erholung der quergestreiften Muskeln, p. 258.

welche mit äusserster Trägheit dem Zug folgt, welcher sie aus der aufgedrungenen Form der Thätigkeit zur ursprünglichen Form und Länge der Ruhe zurückzuführen strebt“ [1]).

Nach allen diesen Erfahrungen muss es wünschenswerth erscheinen, durch neue Versuche die Bedeutung des absteigenden Theiles der Zuckungscurve auf anderem Wege, als bisher geschehen, festzustellen.

Auf Vorschlag des Herrn Prof. Kronecker habe ich im physiologischen Institut der Berliner Universität eine Reihe solcher Versuche angestellt. Zur Ausführung derselben bediente ich mich des von Herrn Geh. Rath du Bois-Reymond construirten Myographions.

Seit der Beschreibung dieses Apparats, welche der Erfinder im I. Bande seiner gesammelten Abhandlungen zur allgemeinen Muskel- und Nerven-Physik pag. 72 ff. gegeben hat und auf die ich hier verweise, sind an dem Apparate eine Reihe wesentlicher Verbesserungen angebracht worden, welche grade für meine Versuche von solcher Wichtigkeit waren, dass ich sie, um deutlich zu werden, erwähnen muss.

Die Stimmgabel, deren aufgeschriebene Schwin-

---

[1]) Pflüger's Archiv 1874, p. 234.

gungen die Geschwindigkeit der berussten Platte controliren soll, ist nunmehr nach Angabe des Herrn du Bois-Reymond am Federgraphion fest angebracht in der Art, dass ein die Zinken sperrender Keil herausgezogen wird, wenn der Drücker die Feder löst, so dass die Platte die Bahn entlang geschleudert wird. Die Sinuscurve der Stimmgabel wird durch eine an ihr befindliche Nadel auf der vorbeigeschossenen Platte unterhalb der Abscisse der Muskelcurve aufgeschrieben.

Wesentlich war für mich in erster Linie die Anbringung eines zweiten Contactes, der auf einem Schlitten innerhalb einer Scala in weiten Gränzen verschiebbar ist. Ich war dadurch im Stande den zweiten Reiz schon $^1/_{600}$ Secunde nach dem ersten Reize und nach Belieben später bis in die letzten Punkte des absteigenden Schenkel eintreffen zu lassen.

Im Laufe meiner Versuche wurde ich zu einer eigenen Präparationsweise und einer besonderen Anbringung der reizenden Electroden geführt; diese Veränderungen erlaubten mir an einem Muskel eine längere Versuchsreihe zu machen, und ich habe dieselben auf Rath des Hrn. Prof. Kronecker in die Versuchsweise eingeführt.

Dem decapitirten Frosche wurde nur das Brustmark zerstört, um die bei der Zerstörung des Lendenmarks zu fürchtende Reizung des Ischiadicus zu vermeiden.

Die Präparation des zum Gastrocnemius gehenden Astes des Ischiadicus geschah unter Durchschneidung

aller anderen Nebenzweige. Nachdem der Gastrocnemius von der Tibia und der übrigen Unterschenkelmuskulatur getrennt war, was unter Belassung der ihn bedeckenden Haut geschah, wurde die Tibia unterhalb des Kniegelenkes durchschnitten.

Zwei leicht gekrümmte, während des grössten Theiles ihres Verlaufes durch Caoutchucpapier von einander isolirte Platinelektroden wurden unter dem präparirten, aber dann in der Muskulatur eingebetteten Nerv geführt und fixirt, die Muskulatur und die Haut oberhalb der Elektroden vernäht. Dann trennte ich den Oberschenkel mit einem transversalen Schnitt durch das Becken oberhalb des Os pubis. Es wurde ein Theil des Femurs an der inneren Seite blosgelegt und diese Strecke in die Muskelklemme befestigt. Der Muskel wurde dann in gewöhnlicher Weise durch einen Muskelhaken fixirt.

Ich schritt dann in folgender Weise zur Ausführung des Versuches.

Zur Reizung benutzte ich zwei inducirende Stromkreise; sie inducirten den reizenden Strom in zwei zu einer vereinigten secundären Spiralen.

War alles dies geschehen, so brach ich die Leitung der zum zweiten Contakte gehörenden Kette, schloss die zum ersten gehörende, dann liess ich die Platte vorüberschiessen und bekam so den durch Oeffnung des ersten Contaktes inducirten Strom.

Gleichzeitig schrieb die schwingende Stimmgabel ihre Curve unter die Muskelcurve.

Ich liess die Stimmgabelcurve nur einmal verzeichnen. Ferner liess ich oberhalb der Abscisse eine Parallele zu ihr durch die Muskelcurve ziehen, wodurch ich zwei homologe Punkte gewann.

Der verticale Abstand der beiden Parallelen war in jedem Versuche ein anderer. Die so gewonnenen Punkte waren diejenigen, von denen ich durch Abziehen der zur latenten Reizung gehörigen Abscissenstrecke die Eintrittspunkte des zweiten Reizes bestimmte.

Eine Reihe auf solche Weise ausgeführter brauchbarer Versuche ergab Curven, deren wichtigere Maasse ich zur besseren Uebersicht in folgender Tabelle geordnet habe.

Anmerkung. Feder + Hebel wird in Ruhelage von 30,0 Gr. equilibrirt.

Heraufgezogen wird die Feder bis zur Höhe grösster Contraction durch 35,0 Gr.

Hebel ohne Feder wird durch 12,5 Gr. equilibrirt.

Alle Gewichte sind angebracht an der Stelle, wo der Muskel angreift, d. h. 4 Ctm. vom Drehpunkte des Hebels, 11 Ctm. von der Schreibfläche, so ist demnach der ganze Schreibhebel 15 Ctm. lang und das Verhältniss der geschriebenen zur wirklichen Contraction ist = 4 : 15.

No. der Curve.	Dauer der latenten Reizung.	Dauer der einfachen Zuckung.	Reizintervall für die 1ste die 2te Summationscurve.		Maximale Höhe der			Minimale Höhe zwischen den Maxima der 2ten Summationscurve.	Höhe des Ausgangspunktes im aufsteigenden Theil der einfachen Zuck.	Differenz zwischen bezeichnetem und beobachtem Summationsmaximum in der 1sten 2ten Summationscurve.		Art und Grösse der Belastung.
					1sten einfachen Zuck.	2ten einfachen Zuck.	1ten Summationscurve.	2ten Summationscurve.				Hebel von 11,5 Gramm Gewicht. + 20,0 Gramm Gewicht.	Hebel von 11,5 + Feder von 30,0 Gr. Anfangs- u. 35,0 Gr. Endspannung.
	"	"	"	"	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.	Mm.		
1.	0,01038	0,0472	0,00284	0,04754	10,0	9,0	10,0	8,5	0,0	1,0	0,0	—1,25	
2.	0,00754	0,04258	0,01134	0,05094	9,0	8,25	10,0	6,5	2,0	2,0	3,5	—5,25	
3.	0,00940	0,04258	0,01321	0,04906	7,25	6,25	9,25	6,5	2,5	2,0	2,5	—2,25	
4.	0,00754	0,05664	0,01134	0,05094	9,5	7,5	13,0	8,5	3,25	2,5	5,0	—4,0	
5.	0,00754	0,05849	0,01134	0,05434	8,75	6,5	12,25	8,25	2,25	2,75	3,0	—1,75	
6.	0,01038	0,05282	0,02076	0,03318	11,25	11,0	15,75	11,0	7,75	6,0	7,5	—2,25	
7.	0,00754	0,04258	0,00850	0,03492	10,5	10,5	15,5	10,0	7,25	6,0	8,5	—5,25	
8.	0,00754	0,05094	0,01698	0,04250	11,5	11,5	17,5	11,5	9,5	7,5	10,25	—4,0	
9.	0,00754	0,03773	0,01544	0,02454	10,0	10,75	16,75	9,0	8,25	9,0	8,0	0,0	
10.	0,00660	0,05014	—	0,03680	11,5	11,5	—	11,5	18,5	11,0	11,5	—4,5	
11.	0,00754	0,03017	0,00660	0,02848	4,5	3,75	6,75	3,75	5,25	0,5	2,25	1,0	+0,75 +0,5
12.	0,00472	0,04151	0,00284	0,04434	9,25	9,0	11,25	9,25	9,25	0,25	4,0	0,0	—1,75 +0,25
13.	0,00660	0,04056	0,00566	0,03396	9,25	9,25	12,5	9,5	12,5	4,75	5,25	5,75	—2,0 —2,5
14.	0,00566	0,03584	0,00660	0,02848	10,0	10,0	14,0	10,25	15,25	7,75	6,25	8,5	—2,25 —3,25
15.	0,00754	0,03774	0,01226	0,02928	11,0	9,75	20,5	11,0	16,0	9,25	9,0	9,5	+1,75 —3,25

So spärlich die in dieser Tabelle zusammengestellten Resultate sein mögen, so werden sie doch genügen zu zeigen, ein wie erheblicher Unterschied der Summationswirkung vorhanden ist, je nachdem der zweite Impuls die steigende oder fallende Masse trifft. Im allgemeinen bleibt, wie zu erwarten war, die gefundene Maximalhöhe um so mehr unter der, nach der Helmholtz'schen Regel berechneten zurück, je höher im absteigenden Schenkel der primären Curve die secundäre austritt. Aber auch von den tieferen Ausgangsstellen erhebt sich die Zuckung doppelter Reizung über die einfache so wenig, dass sie auch dann nicht nahezu dem Gesetze genügt. Die ganze Tabelle zerfällt in zwei Abschnitte, von denen der erste die Versuche mit Gewichtsbelastung, der zweite mit Federspannung enthält. Wenn wir die letzten fünf Columnen vergleichend betrachten, so finden wir in der Columne, welche die Höhe der Ausgangspunkte im aufsteigenden Theile der einfachen Zuckung angiebt, das Merkmal für die gewählte Reihenfolge der tabellarisch geordneten Versuche. Es sind vornehmlich die Versuche in solcher Reihenfolge aufnotirt, wie die Ausgangspunkte im aufsteigenden Schenkel gradatim höher gewählt sind.

Wir finden bei genauer Betrachtung, dass die etwa am ersten Dritttheil des Aufsteigens Hebel und Gewicht treffenden Impulse die Masse weniger zu beschleunigen geeignet sind als diejenigen, welche im zweiten Drittel der Zusammenziehung nachhelfen. Im letzten Drittel

werden die zweiten Impulse verhältnissmässig immer machtloser. Im absteigenden Theile sind im Allgemeinen die im oberen Drittel einfallenden zweiten Impulse verhältnissmässig wirksamer als die weiter unten aufgestellten. In einem Falle (Exper. 9) war sogar ein nahe der Maximalhöhe dem erschlaffenden Muskel zugefügter zweiter Reiz so wirksam, dass die summirte Zuckung das berechnete Maximum erreichte.

Besonders auffallend und interessant sind die zwei Fälle (Exper. 4 und 5), in welchen das gefundene Maximum der Summationscurve das berechnete übertraf. Unser Versuchsmaterial ist bei Weitem nicht reich genug, um die Möglichkeit zufälliger Abweichungen auszuschliessen.

Wenn auch diejenigen Fälle, in denen die erste und zweite einfache Zuckung sich sehr beträchtlich unterscheiden oder die Summationscurven deutliche Störungen zeigten, hier unberücksichtigt geblieben sind, so wäre es doch nicht unmöglich, dass gerade beim Zeichnen dieser über Erwarten hohen Summationscurven die zweiten Reize ungewöhnlich gross ausgefallen seien. Sehr wahrscheinlich ist diese Annahme nicht, da gerade in diesen Fällen die einfachen Zuckungen recht gut übereinstimmen.

Man muss sich wohl in diesem Falle vorstellen, dass der zweite Reiz den Muskel in Wirksamkeit versetzte in dem Momente, als die durch die erste Zuckung geworfene Last den Muskel geradezu ent-

lastete. Der nunmehr ungehindert dem neuen Impulse folgende Muskel ertheilte der bewegten Masse eine neue Beschleunigung, ohne durch das Trägheitsmoment in der Geschwindigkeit seiner Zusammenziehung gestört zu werden. Es wird damit ein ähnlicher Effect erzielt, wie ihn Herr Kronecker[1]) mittelst seines Lastpendels herbeiführen konnte. Am bewegten Pendel vermochte ein Muskel viel grössere Arbeit zu leisten als durch Hebung eines ruhenden Gewichtes. Erwähnenswerth ist noch eine eigenthümliche Deformation, welche die im Exper. 10 numerisch bestimmte Summationscurve enthielt.

Wie aus der Tabelle ersichtlich, ging die zweite Curve der doppelten Reizung sehr wenig vor der Höhe der ersten aus. Sie stieg aber nicht sogleich an, sondern senkte sich erst etwas. Diesen Vorgang kann man sich wohl so erklären, dass der Ruck, welchen der Muskel beim Beginne seiner zweiten Contraction, von dem auf der Höhe der ersten (vor seinem Niederfall) ruhenden Gewichte erhält, seine Kraftentwickelung verzögert, ähnlich wie im Anfange jeder einfachen Zuckungscurve erst sehr langsam, dann mit beschleunigter Geschwindigkeit anhebt.

Der zweite Theil der obigen Tabelle, in welchem die Versuche mit durch Federkraft gespannten Muskel

---

[1]) Dissertatio. De Ratione qua musculorum defatigatio ex labore eorum pendeat. p. 59. Taf. I.

zusammengestellt sind, zeigen Resultate, welche im Allgemeinen denen bei mit Gewicht belasteten Muskeln gewonnenen analog sind. Auch hier finden wir die Summation im aufsteigenden Theile günstiger (Exper. XI) als in dem absteigenden. Auch hier finden wir einen Fall (Exper. XV), in dem die gewonnene Zuckungshöhe erheblich grösser ist als die berechnete.

Mehr als Zahlenbestimmungen lehrt hier die Betrachtung der Curven, welche ich leider nicht wiedergeben kann.

Es ergiebt sich aus denselben, dass auch bei Federwiderständen die Entwickelung der verdoppelten Kraft um so günstiger ist, je weniger die Energie zwischen den beiden Impulsen sinken konnte.

Für die Summation im absteigenden Schenkel scheint die Federspannung günstiger zu sein als die Gewichtsbelastung. Wenn wir hiernach das Resultat dieser Untersuchungen in Kürze zusammenfassen sollen, so kommen wir in eine gewisse Verlegenheit. Es bleibt wie wir erwartet haben die Summation im absteigenden Schenkel unvollkommener als im aufsteigenden, aber auch hier folgt sie nicht so vollständig und für alle Stücke gleichmässig der Helmholtz'schen Regel, dass man auf kleine Unterschiede in den wenigen Beispielen zwingende Schlüsse ziehen könnte auf die Dauer des activen Zustandes im zuckenden Muskel.

Es scheint nach dem was wir gesehen haben wahrscheinlich, dass der unvollkommene Tetanus, wie er

bei ungenügender Reizfrequenz zustande kommt, sehr bald die elastischen Eigenschaften des Muskels verändert, so dass er sich anders verhält als die bei vorsichtiger Vermeidung der Ermüdungseinflüsse mit Doppelreizen behandelten Präparate.

Ich hoffe durch fernere Versuche auch die Bedingungen zu finden, welche die Constanz des Tetanus zu begünstigen geeignet sind und welche das Gefüge des Muskels so schädigen, dass aus dem lebensvollen contrahirten der todtenstarre wird. —

Schliesslich sei es mir erlaubt, einer angenehmen Pflicht nachkommend, Herrn Professor Dr. Hugo Kronecker, der mich zur vorliegenden Arbeit anregte und dieselbe leitete, meinen tiefgefühlten Dank auszusprechen.

THESEN.

I.

Elasticität und Contractilität sind in der Muskelphysiologie als getrennte Begriffe zu betrachten.

II.

Die Kohlensäurebildung, nicht der Mangel des Sauerstoffes bedingen die Ermüdung des Herzens.

III.

Die Grösse des Blutdrucks im Aortensysteme ist nur abhängig von der Füllung des Herzens und der Weite der Gefässbahn.

Verfasser, Johann v. Raum, am 16. August 1854 zu Warschau geboren, katholischer Confession, besuchte das Gymnasium zu Warschau, welches er zu Ostern 1873 mit dem Zeugniss der Reife verliess. Am 14. October desselben Jahres bei der medicinischen Facultät der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin inscribirt, verliess er dieselbe am 1. August 1875, um 2 Semester in Wien zu studiren, worauf er seit dem 2. December 1876 wieder an der hiesigen Universität dem Studium der Medicin oblag. Am 23. Juli 1878 bestand er das Examen rigorosum.

Während seiner Studienzeit besuchte er die Vorlesungen bez. Kliniken folgender Herren: du Bois-Reymond, Bose, Braun, Fasbender, Gurlt, Hartmann, Hofmann, Jacobson, v. Langenbeck, Lewin, Leyden, J. Meyer, Orth, Reichert, Senator, Simon, Virchow, Waldenburg, Westphal.

Allen diesen Herren, seinen verehrten Lehrern, spricht Verfasser für seine Ausbildung den wärmsten Dank aus.